

Het beeld van de natuurwetenschappen in ons onderwijs

Citation for published version (APA):

Bijker, W. E. (1982). Het beeld van de natuurwetenschappen in ons onderwijs: mogelijke gevolgen van recente wetenschapsfilosofische inzichten voor de didaktiek der natuurwetenschappen. *Faraday : tijdschrift voor M.O. en V.H.O. in natuur- en scheikunde : orgaan van de Vereniging van Leeraren in Natuur- en Scheikunde*, 51, 79-85.

Document status and date:

Published: 01/01/1982

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Het beeld van de natuurwetenschappen in ons onderwijs

Mogelijke gevolgen van recente wetenschapsfilosofische inzichten voor de didactiek der natuurwetenschappen

WIEBE BIJKER*

Waar zijn we eigenlijk mee bezig?

Zonder dat we ons dat vaak bewust zijn brengen we leerlingen een bepaald beeld bij van wat natuurwetenschappen zijn: wat natuurwetenschappelijke kennis is, hoe onderzoek gedaan wordt, wat de mogelijkheden en onmogelijkheden zijn in het 'omgaan met wetenschap en techniek'. Hoe ziet dit beeld er uit? Een enigszins cynische waarnemer zou kunnen concluderen, dat wij aan leerlingen een belegen, almachtige en vervreemde wetenschap laten zien, die wordt bedreven in een ivoren toren.

Belegen omdat de natuurwetenschappen op school wetenschappen-uit-de-oude-doos zijn: in de natuurkunde¹ komen nauwelijks ontwikkelingen van na 1945 aan bod. Als onze leerlingen niet allemaal met het idee rondlopen, dat de natuurkunde weinig nieuws meer heeft te melden, komt dat misschien door de foto's van snelkookpannen en raketten in de schoolboeken – zeker niet door de behandelde onderwerpen.

Almachtig lijkt de natuurwetenschap ook. Elk probleem kan worden opgelost. Wij bieden immers zorgvuldig geselecteerde en van allerlei lastige variabelen ontdane problemen aan: er is altijd één en slechts één oplossing.

Dit maakt ook dat de natuurwetenschap een van mensen *vervreemde* wetenschap lijkt. Er wordt niet van echte problemen uitgegaan, die bijvoorbeeld door leerlingen worden aangedragen of tenminste door hen als probleem worden herkend. Deden we dat wel, dan zou de wetenschap vaak door de mand vallen: er is dan geen oplossing, of er zijn meer oplossingen of de oplossing moet heel ergens anders gezocht worden.

Hierdoor komt de wetenschap ook boven in een *ivoren (of betonnen ...) toren* terecht. De leraar weet alles en heeft altijd gelijk – ook al moet hij zich soms redden met 'dat kan ik pas volgend jaar uitleggen'. Je ziet leerlingen denken:

'Andere natuurkundigen zullen dus ook wel, net als mijn leraar, alles kunnen uitrekenen. In elk geval kan ik niet begrijpen wat ze doen, dus laat ik die beslissingen over kernenergie of nieuwe wapensystemen maar aan hun over' (en de beslissingen over de economie aan de economen, over het onderwijs aan de onderwijskundigen en over mijn moeilijk lerende kind aan de psychologen).

Nu doe ik met het hierboven geschetste beeld ongetwijfeld een aantal collega's onrecht. Als grove, algemene karakterisering op basis van met name de thans geldende examenprogramma's en de veel gebruikte schoolboeken lijkt dit beeld van de natuurwetenschappen echter onontkoombaar. Ik wil in dit artikel redenen aangeven, waarom we aan een verandering van dit beeld moeten werken en hoe dat zou kunnen gebeuren. Want het thans overgedragen beeld is pedagogisch en didactisch contraproductief, politiek-maatschappelijk schadelijk en wetenschapsfilosofisch onjuist.

Contraproductief is deze manier van natuurwetenschap presenteren, doordat het bij de leerlingen een minder actief en betrokken leergedrag stimuleert dan mogelijk is bij een ander beeld. Ik hoop dit hieronder nog met voorbeelden aannemelijk te maken.

Maatschappelijk schadelijk is dit beeld, doordat het – zoals hierboven is aangegeven – leerlingen meer opvoedt tot makke, onverschillige schapen dan tot kritische burgers. Bij discussies over 'NAS-onderwijs' n.a.v. dit probleem duikt vaak de tegenstelling op tussen 'maatschappelijk georiënteerd natuurkunde-onderwijs' en 'eerst goed en degelijk natuurkunde-onderwijs'. Ik zal in dit artikel trachten aan te geven dat dit een schijntegenstelling is. Of beter gezegd: dat deze tegenstelling des te kleiner wordt, naarmate ons natuurkunde-onderwijs beter en degelijker is. Met 'beter en degelijker' bedoel ik dan, dat het natuurkundebeeld dat aan leerlingen wordt overgedragen meer in overeenstemming is met het werkelijke karakter van fysieke kennis en fysisch onderzoek. Daartoe schets ik eerst enkele recente resultaten van wetenschapsfilosofisch onderzoek. Daarna zal ik proberen aan te geven, hoe deze resultaten vertaald kunnen worden in ander onderwijs.

Natuurwetenschappen als maatschappelijk produkt

Wetenschappelijke kennis kan in twee opzichten als produkt beschouwd worden. Ten eerste zijn theorieën niet zaken die je zo maar in de werkelijkheid *vindt*; ze moeten

* TH-Twente, De Boerderij, Postbus 217, 7500 AE Enschede.

gemaakt worden. Deze constructivistische opvatting over kennis komt in de volgende paragraaf ter sprake. Ten tweede moet wetenschap maatschappelijk verkocht (gelegitimeerd) worden. Slechts onder die voorwaarde zal er geld beschikbaar worden gesteld voor onderzoek. Ik zal hieronder schetsen hoe de natuurwetenschap in de loop der tijd gelegitimeerd is en hoe deze verschillende manieren elk hun stempel hebben gedrukt op het beeld dat veel onderzoekers en leraren van hun wetenschap hebben.

Verskillende legitimatiegronden kunnen achtereenvolgens worden onderscheiden:

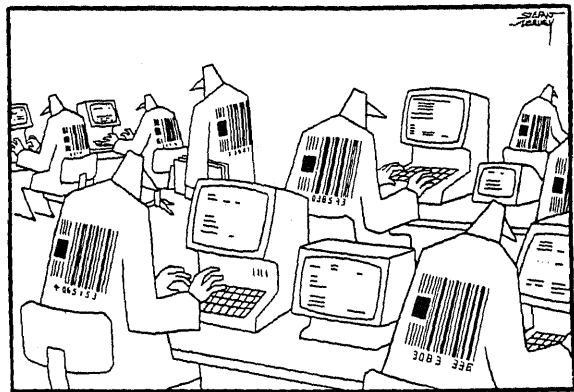
- *legitimatie door demarcatie*: in de 17e eeuw, bij het ontstaan van het moderne natuurwetenschappelijk onderzoek (oprichting Royal Society of London, werk van Newton, Boyle, Hooke, Huygens), wordt een grens getrokken tussen de natuurwetenschap enerzijds en de politiek, de religie en de sociale problematiek anderzijds. Deze demarcatie volgt op een periode waarin de natuurwetenschap juist verbonden was geweest met de puriteinse (religieuze) beweging, die onder meer sociale en onderwijskundige hervormingen bepleitte. Bij de restauratie van de monarchie moesten de wetenschapsbeoefenaars, als voorwaarde voor hun maatschappelijke acceptatie, als het ware beloven om zich niet meer met dergelijke maatschappelijke problemen bezig te houden. Vanaf deze tijd wordt de natuurwetenschap beschouwd als *waardevrij*.

- *legitimatie door rationaliteit*: in de 18e eeuw ziet men het redelijkheidsideaal van de Verlichting belichaamd in de natuurwetenschap. Wetenschappelijk onderzoek wordt daarom cultureel en educatief van groot belang geacht. Zo zal een inpassen van de methoden en resultaten van de natuurwetenschap in het politieke handelen leiden tot vrede, vrijheid en gerechtigheid; de exacte vakken in het onderwijs leiden tot geestelijke en zedelijke verheffing des volks; en via het productieproces zal de natuurwetenschap materiële voorspoed brengen. Vanaf deze tijd wordt de wetenschap beschouwd als ideaal voorbeeld van *rationeel* handelen.

- *legitimatie door techniek*: in de 19e en 20e eeuw wordt de directe relatie tussen wetenschap en techniek belangrijker. De veronderstelling is, dat technische vooruitgang alleen mogelijk is op basis van wetenschappelijk onderzoek. Zolang het belang van de techniek boven twijfel verheven is, is hiermee een belangrijke rechtvaardiging van wetenschapsbeoefening gegeven; de natuurwetenschappen zijn een *voorwaarde voor technische innovaties*.

Uit het feit dat de besproken beeldelementen van de natuurwetenschap zo'n duidelijke historische basis hebben, kan allereerst geconcludeerd worden, dat ze niet

vanzelfsprekend zijn. Het heeft zin ons af te vragen óf die wetenschap nu wel zo waardevrij is; welke rol rationaliteit precies speelt; op welke wijze natuurwetenschappelijk onderzoek eigenlijk bijdraagt tot technische vooruitgang. Een tweede reden om ons te bezinnen op de adequaatheid van dit standaardbeeld is de omstandigheid, dat sinds de jaren zestig de legitimatie van de natuurwetenschappen aan het afbrokkelen is. (Denk aan de reacties op 'Lekkerkerk', de kernwapenwedloop, kernenergie en de risico's van de recombinant-DNA-technologie; zie ook de illustratie.)



In het volgende zal blijken, dat het beeld van de natuurwetenschappen zoals we dat nu – en beter – kunnen beschrijven op een aantal punten afwijkt van het zojuist beschreven standaardbeeld. Het nieuwe, meer met de werkelijkheid overeenstemmende beeld biedt meer aanknopingspunten voor vruchtbare reacties op de huidige problemen rond wetenschap, techniek en samenleving dan het standaardbeeld. In principe opent het de mogelijkheid van een democratisch controleren en sturen van wetenschap en techniek en maakt het vluchtreacties onnodig zoals het afwijzen van alles met-een-knop-en-wijzertje of het zich overgeven aan Baghwan.

Aanzetten tot een beter beeld van de wetenschapsontwikkeling

Hieronder volgen een aantal korte schetsen van enkele belangrijke wetenschapsfilosofische analyses, voorzover deze van belang zijn voor het opbouwen van een nieuw en juist beeld van de natuurwetenschappen voor gebruik in het onderwijs².

De positivisten van de *Wiener Kreis* (onder andere, Carnap, Feigl, Hempel, Reichenbach; ≈ 1930) maakten een streng onderscheid tussen experiment en theorie. De

natuur is het aambeeld waarop de natuurkundige met het experiment (de hamer) de theorie (het smeedstuk) beproeft. Of, om een voorbeeld te noemen, Michelson en Morley vragen met hun beroemde experiment aan de natuur of er ether bestaat, en 'nature shouts: no!'. Dit is het model dat in de meeste schoolboeken als natuurkundige methode wordt geschetst. Een tweede belangrijk element in de filosofie van de Wiener Kreis was het verifieerbaarheidsbeginsel: alleen die uitspraken zijn wetenschappelijk zinvol, die in principe geverifieerd kunnen worden. Ten derde moet vermeld worden dat zij, waar gesproken wordt over natuurkundige theorieën, altijd denken aan een verzameling uitspraken (wetten); centraal in de analyse van de Wiener Kreis staan proposities.

Onderzoek wees echter uit dat noch de rigoureuze scheiding tussen experiment en theorie, noch het verifieerbaarheidsbeginsel in overeenstemming waren met hoe natuurwetenschappelijk onderzoek werkelijk geschiedt. *Popper* formuleerde ter vervanging van het verifieerbaarheidsbeginsel het falsifieerbaarheidsbeginsel: alleen die uitspraken zijn wetenschappelijk zinvol, waarvan je in principe de eventuele onjuistheid kunt vaststellen. Ten tweede stelde *Popper* vast dat experimentele observaties altijd theoriegeladen zijn. Je kunt leerlingen wel de wet van Hooke laten 'ontdekken' met behulp van een veer, een lineaal en een aantal gewichtjes, maar daarbij worden impliciet veronderstellingen gemaakt over wat een kracht precies is; en wanneer de massa's van de gewichtjes uit een meting met een veerunster zijn afgeleid, zijn deze veronderstellingen bovendien niet onafhankelijk van de wet van Hooke.

Zo kon *Lorentz* het experiment van *Michelson* en *Morley* als bewijs zien voor een stilstaande ether, als hij tenminste verklaarde hoe lengte-waarnemingen afhankelijk zijn van de beweging ten opzichte van deze ether. Dat deed hij dan ook, met als resultaat de *lorentzcontractie*. *Popper* beschouwt een theorie nog wel als een verzameling uitspraken, doch in zijn analyse speelt de natuurwetenschappelijke methode, volgens welke deze worden aanvaard of verworpen, een meer centrale rol.

In het verlengde van *Poppers* falsifieerbaarheidsprincipe lag de suggestie dat een theorie onmiddellijk na falsifiëring ook direct verworpen moest worden. *Lakatos* heeft laten zien dat dit in werkelijkheid niet gebeurt. Er bestaan altijd verschillende, wat hij noemt, researchprogramma's naast elkaar. Tussen twee researchprogramma's kan volgens *Lakatos* bovendien niet met één experiment beslist worden: het 'cruciale' experiment bestaat niet. Zo kan het experiment van *Michelson* en *Morley* alleen achteraf

herkend worden als de genadeklap voor de ethertheorie. In 1897 fungeerde het zeker niet als zodanig: zelfs *Michelson* trok nog niet de conclusie dat ether niet bestaat.

Een belangrijke oorzaak van het niet bestaan van cruciale experimenten is de zogenaamde *ceteris-paribus-clausule*: de vooronderstelling dat alles, behalve de variabele die je wilt meten, hetzelfde blijft. Als we de weerstand van een draad bepalen door de stroom als functie van de spanning te meten, nemen we aan dat de temperatuur, dikte, lengte, etc. (en in principe kan er nog van alles in dat 'et cetera' zitten) gelijk blijven. In de praktijk van het onderzoek betekent dit, dat anomalieën in een theorie (dat wil zeggen onderdelen die niet lijken te kloppen met bijvoorbeeld de experimenten) een tijd lang geduld worden, tot ze zo groot in aantal zijn dat het gehele researchprogramma afgedankt wordt. Centraal in *Lakatos'* analyses staan de researchprogramma's en de manier waarop deze worden versterkt, immuun worden gehouden en uiteindelijk worden verlaten.

Thomas Kuhn scherpt het laatstgenoemde proces van anomalieënopieënhooping, gevolgd door afdanking van het hele researchprogramma verder aan tot wat hij noemt een wetenschappelijke revolutie. Tijdens zo'n revolutionaire periode wordt de ene theorie (*Kuhn*: paradigma) vervangen door een andere. Hoewel dit niet volstrekt regelloos geschiedt, spelen hierbij wel allerlei extern-wetenschappelijke invloeden een rol (status van wetenschappers, sociale en economische omstandigheden, redactioneel beleid van een wetenschappelijk tijdschrift en dergelijke). Tussen twee revolutionaire perioden is er sprake van normale wetenschap. Tijdens zo'n fase bestaat de activiteit van onderzoekers vooral uit 'puzzle-solving'; anomalieën en kritiek op de theorie worden dan genegeerd.

De hoofdstellingen van *Kuhn* zijn nu als volgt samen te vatten:

- de immuniteitsthese: tijdens een periode van normale wetenschap wordt de theorie immuun gehouden voor kritiek (in strijd met *Poppers* falsificatievoorschrift en het beeld van de wetenschapper als altijd-kritisch);
- de incommensurabiliteitsthese: op elkaar volgende theorieën (als het ware aan 'weerszijden' van een revolutionaire periode) zijn niet met elkaar te vergelijken (in strijd met het beeld van de natuurkunde als een steeds verder cumulerende verzameling kennis over de natuur);
- de irrationaliteitsthese: wetenschaps groei is geen rationeel proces, als gevolg van de onvergelykbaarheid van opeenvolgende theorieën (in strijd met zo ongeveer het belangrijkste element in ons beeld van de natuurkunde).

Centraal in *Kuhns* analyse staat het paradigma (zoiets

als een conglomeraat van modellen, technieken, methodologische gewoontes, manieren-van-kijken).

Bij de wetenschapsfilosofen uit het Duitse *Starnberg* gaat het niet om de meer filosofische problemen rond bijv. rationaliteit, maar om de meer politieke problemen rond de sturing van wetenschapsontwikkeling. De Kuhnianse revoluties hebben in de loop van de discussies en analyses nogal wat van hun abrupte en onbegrijpbare karakter verloren. De Starnbergers ontwikkelden, voortbouwend op Kuhn, een drie-fasen model voor de wetenschapsontwikkeling.

In de eerste, exploratieve fase zijn de basisprincipes van de discipline nog niet duidelijk. Het is dan mogelijk, invloed uit te oefenen op het doel van dat onderzoek. De Starnbergers noemen deze vorm van externe sturing van onderzoek functionalisering. De activiteiten van onderzoekers worden op een bepaald probleem gericht, zonder dat daarbij een duidelijke theorie voorhanden is. Bepaalde delen van het moderne kankeronderzoek zijn hiervan een voorbeeld.

In de tweede, paradigmatische fase zijn doelen en grondprincipes van de discipline duidelijk. Directe externe beïnvloeding is in deze fase niet mogelijk. Indirect is de inhoud van de theorie-ontwikkeling ook hier mede extern bepaald, doordat behalve de doelen ook de basisprincipes bij het begin van deze fase maatschappelijk zijn beïnvloed. Maar in deze fase zelf wordt de ontwikkeling van een theorie vooral intern bepaald. Een voorbeeld hiervan is de klassieke mechanica tussen Newton en Hamilton (van 1685 tot midden 19e eeuw).

In de derde, post-paradigmatische fase liggen de basisprincipes van de discipline vast. Er is sprake van een afgesloten theorie, op basis waarvan het onderzoek nu op nieuwe doelen gericht kan worden. De Starnbergers noemen deze vorm van externe sturing finalisering. De plasmafysica is een voorbeeld van een gefinaliseerde theorieontwikkeling: de basisprincipes van deze discipline worden geleverd door de magnetohydrodynamica en dergelijke algemene theorieën; het onderzoek wordt nu gericht op een nieuw doel, namelijk het mogelijk maken van kernfusie met een beheerste, continue energieafgifte. Dit is niet het toepassen van oude theorieën in een nieuwe situatie; het betekent een nieuwe theorieontwikkeling op basis van die oude theorieën.

Centraal in het model van de Starnbergers staan de doelen en basisprincipes van een wetenschappelijke discipline.

Tenslotte een korte aanduiding van de richting die het

wetenschapsonderzoek thans lijkt op te gaan. Veel aandacht krijgt wat wordt genoemd *de sociale constructie van feiten*: onderzoek in laboratoria naar het daadwerkelijk handelen van bijv. natuurkundigen en onderzoek naar het bestaan en functioneren van wetenschappelijke gemeenschappen (bijvoorbeeld gekarakteriseerd door het hebben van een eigen tijdschrift). De achterliggende aanname bij dit soort onderzoek vloeit min of meer direct voort uit de analyses van Kuhn en de Starnbergers: wetenschappelijke theorieën worden niet 'ontdekt' door eenvoudigweg goed te kijken, maar ze worden steeds weer gemaakt door groepen mensen. (Natuurlijk niet naar willekeur: de rol van experimenten wordt niet kleiner geacht dan in oudere beelden van de natuurkunde het geval was, wel anders.)

Toepassing van het nieuwe beeld van de natuurwetenschappen in het onderwijs

In het voorgaande is gepleit voor een nieuw beeld van de natuurwetenschappen. Een beeld dat meer recht doet aan zowel de werkelijkheid van het natuurwetenschappelijk onderzoek als aan de doelstellingen van ons onderwijs. Dit nieuwe beeld is niet expliciet geschetst. In het volgende zal ik verschillende elementen van dit nieuwe beeld noemen en een vormgeving daarvan in het (natuurkunde-)onderwijs schetsen.

– De natuurwetenschappen zijn *niet belegen*. In plaats van het versieren van de leerboeken met plaatjes van moderne technische toepassingen, moet de inhoud van de vakken worden vernieuwd. Het eenvoudigst is dat te realiseren, als we ons richten op de meer technologische ontwikkelingen: zonnecollectoren, zonnecellen, verkeersbeveiligingssystemen, risicoproblematiek rond kernenergie, niet-chemische bestrijdingsmiddelen in de landbouw, chemische procestechniek. Maar ook op het gebied van de meer fundamentele theorievorming kunnen recente resultaten aan bod komen in het onderwijs: de theorie over het uit quarks opgebouwd zijn van de 'elementaire' deeltjes (in het PLON uitgewerkt voor de HAVO-bovenbouw), recente astronomische resultaten, ecologie.

– De natuurwetenschappen zijn *niet almachtig*. Zij leveren weliswaar belangrijke bijdragen aan de oplossing van grote maatschappelijke problemen, maar niet zelden ontstaan daardoor weer nieuwe problemen. Om dit duidelijk te maken, moeten we bijvoorbeeld niet stoppen bij het noemen van de elektriciteitsproductie als toepassing van de dynamo. Ook aan de orde dienen te komen, hoe de elektrificatie van de samenleving die samenleving ingrijpend en deels ongunstig heeft doen veranderen (kwets-

baarheid van gecentraliseerde energieproductie, energieschaarste) en dat je je kunt afvragen of een louter-technische aanpak van deze problemen wel tot de meest gewenste oplossingen leidt. Overigens hebben de natuurwetenschappen zowel in heden als verleden toch al veel vragen onbeantwoord gelaten; en vragen die wel werden beantwoord, konden dit bovendien meestal alleen worden dankzij abstracties en verwaarlozingen.

Iedere natuurkundeleraar kent het probleem, dat hij bij zijn natuurkundebeschouwingen een aantal verwaarlozingen en benaderingen maakt, waar de leerlingen moeite mee hebben (puntmassa, geen wrijving, volkomen elasticiteit, etc.). Illustratief voor de moeilijkheden die leerlingen hiermee kunnen hebben is het volgende stukje klassepraktijk:

vraag: 'Wat moet iemand in een roeiboot doen om die boot stil te laten liggen?' (het bedoelde antwoord luidde, in verband met de introductie van het begrip 'arbeid': 'niets')

antwoord van leerlingen: 'steeds een beetje roeien om de invloed van wind, stroom en golven tegen te gaan'.

Om in de biologie uitspraken te kunnen doen over de symmetrie van een bloem, moet de werkelijke vorm worden geabstraheerd tot een grondvorm. Bij scheikunde-problemen wordt meestal stilzwijgend verondersteld, dat stofconstanten uit het tabellenboek – hoewel deze slechts voor een bepaalde temperatuur gelden – gebruikt mogen worden.

Het is belangrijk om leerlingen dat proces van abstraheering van de werkelijkheid, van aanpassing-aan-wat-we-kunnen-beschrijven, van modelmatig denken méé te laten maken. We moeten ze niet, zoals vroeger, plompverloren met geïdealiseerde puntmassa's volkomen elastisch en wrijvingsloos laten exerceren, maar ze duidelijk maken hoe en waarom in de natuurkunde tot die benadering is gekozen. Daardoor kan zowel de waarde van de natuurwetenschappelijke benadering, als zijn beperktheid beter uit de verf komen.

– Natuurwetenschappen houden zich met echte problemen bezig en zijn als zodanig *niet vervreemd* van de menselijke samenleving. De meest geëigende manier om dit aan leerlingen over te brengen lijkt mij een thematische in plaats van systematische leerstofopbouw. Een thematische behandeling van de mechanica rond de thema's VERKEER EN VEILIGHEID en BRUGGEN (beide bij het PLON) wekt een heel ander beeld van de rol die de natuurkunde kan spelen dan een systematische behandeling (meestal in essentie nog de volgorde in Newton's *Principia* ... volgend). We moeten hierbij oppassen voor een dogmatische alles-of-niets keuze. Zo bleken er, de beide genoemde PLON-thema's overziend, nog enkele gaten in de aangebo-

den leerstof te zitten; met een klein boekje (beter: hoofdstuk) KRACHTEN kon daarin worden voorzien.

– De natuurwetenschappen zijn *niet waarde vrij*. Het eerder genoemde voorbeeld van de rol die het puritanisme heeft gespeeld bij de ontwikkeling van de moderne natuurwetenschap kan een aanknopingspunt zijn voor een klas-gesprek. Vermoedelijk zal dan ook blijken dat de leerlingen heel duidelijk bepaalde waarden in de natuurkunde belichaamd zien, onafhankelijk van wat wij ze hebben (willen) laten zien.

In de leerboeken zou beter moeten worden aangegeven, wat de historische ontwikkeling van de natuurwetenschappen is en hoe andere cultuurontwikkelingen daaraan parallel liepen (vgl. het Amerikaanse natuurkundeboek: *Project Physics*). Studies over dit onderwerp en de didactische vormgeving ervan zouden aandacht kunnen krijgen in *Faraday*, zodat wij (leraren) langs die weg de leemte in onze opleiding kunnen opvullen.

– Natuurwetenschappelijk onderzoek verloopt vaak *allerminst rationeel*. Onderzoekers zijn ook gewone mensen die fouten maken, trucs uithalen, ambities hebben en onder druk gezet kunnen worden.

Er zijn zowel historische voorbeelden (bijvoorbeeld het verhaal van Nobelprijswinnaar Watson over de ontdekking van de DNA-structuur) als recente onderzoeken (vgl. de *Intermediair*-enquête naar fraude in de wetenschap, 1978), die materiaal kunnen opleveren om leerlingen een beeld van de wetenschappelijk onderzoeker te geven, dat minder heilig is dan de orthodoxe voorstelling van een Onzelfzuchtige Zoeker naar De Waarheid.

– De relatie tussen wetenschap en techniek is *complex*. De in veel leerboeken gesuggereerde één-richtingsinvloed (van W via toepassingsonderzoek naar T) is in elk geval onjuist. Ten eerste zijn er al in de vroege geschiedenis van de moderne natuurwetenschap situaties aanwijsbaar (bijvoorbeeld de stoommachine en de thermodynamica), waarin juist de technische ontwikkeling vóór loopt op de wetenschappelijke ontwikkeling. Daarnaast is de huidige situatie veelal zo, dat moeilijk grenzen getrokken kunnen worden tussen wetenschapsontwikkeling en techniekontwikkeling. Enerzijds heeft een industrialisering van de wetenschap plaats gevonden: onderzoek wordt niet meer gedaan door geniale eenlingen, maar door grote teams met vaak erg grote instrumentatie-budgetten. Anderzijds valt ook een verwetenschappelijking van de techniek te constateren: steeds meer technische ontwikkelingen kunnen slechts plaats vinden op basis van theorievorming. Doordat deze processen het eerst te zien waren – en nog steeds het duidelijkst te zien zijn – in de sfeer van het militaire onderzoek, wordt vaak gesproken van het militair-indu-

strieel-wetenschappelijk complex. Het lijkt me belangrijk het bestaan van dit complex in het onderwijs aan de orde te stellen, opdat het probleem van 'wetenschap, techniek en samenleving' niet wordt versimpeld tot een schuldig verklaren van individuele onderzoekers of technici.

Aansprekende illustraties zijn de ontwikkelingen in de moderne natuurkunde op het gebied van de kernenergie ('zuivere' kernfysica, kernwapens, kernenergie, relatie tussen beide laatste: proliferatieprobleem), elektronica ('zuivere' vaste-stof-fysica, transistorontwikkeling binnen de industriële research, communicatie-'boom', automatisering), laseronderzoek ('zuivere' vaste-stof-fysica, wapengeleiding, uraniumverrijking).

– Experimentele waarnemingen zijn *theorie-geladen* en daarmee minder hard dan vaak wordt gesuggereerd. Je kunt leerlingen wel de wet van Ohm laten 'ontdekken' met behulp van een variabele spanningsbron, een weerstandje en een paar meters, maar daarbij worden impliciet een aantal theoretische veronderstellingen gemaakt over hoe die meters werken. (En in dit geval zijn dan bovendien die veronderstellingen niet onafhankelijk van de wet van Ohm). Het lijkt me zinvol leerlingen bewust te maken van dit soort problemen, ook als ze later geen natuurwetenschappelijk werk gaan doen: de sociaal-wetenschappelijke onderzoeken waarover ze in hun krant zullen lezen, zijn evenmin vrij van deze problemen.

– Een bestaande theorie wordt lange tijd *immuun* gehouden *voor kritiek*. Cruciale experimenten komen zelden of nooit voor. Dit is een meer methodologisch voorbeeld van het al genoemde niet-zo-rationeel-verlopen van wetenschappelijk onderzoek: het is immers niet zo redelijk om ondanks een tegensprekend experiment toch vast te houden aan je theorie. Om dit redden van de theorie rationeel mogelijk te maken, worden ad hoc hypothesen bedacht. Zo ook bij het Ohm-practicum, wanneer een leerling een ander verband vindt dan de door ons verwachte evenredigheid. Zal hij enthousiast worden gefeliciteerd met het falsifiëren van de wet van Ohm? Waarschijnlijker is, dat de leraar oppert 'dat de temperatuur wel niet constant geweest zal zijn, of dat de spanning van je voedingskastje geschommeld heeft'. Wanneer leerlingen wordt gesuggereerd dat ze door middel van een practicum inzicht krijgen in de natuurwetenschappelijke methode, houden we ze dus voor de gek. Het is eerlijker en ook bijdragend tot een beter inzicht in het functioneren van een onderzoeker, als de probleemstelling van het Ohm-practicum luidt: 'hier is de wet van Ohm; ga die nu controleren; probeer te bedenken, hoe je eventuele afwijkingen in jouw resultaten kunt verklaren'.

– Natuurwetten worden niet ontdekt maar *geconstru-*

eerd. Vaak wordt bij bijvoorbeeld dat practicum over de Wet van Ohm een verkeerd beeld van de (natuur)wetenschappelijke methode gegeven. De suggestie wordt gewekt dat wetmatigheden inductief uit een serie metingen volgen; we ontdekken letterlijk hoe de natuur in elkaar zit. Daarmee wordt het constructieve karakter van kennis ontkend. Theorieën worden niet gevonden maar bedacht. Wanneer we in het onderwijs van dit laatste uitgaan, bieden we leerlingen niet alleen een juister beeld van het functioneren van de natuurwetenschappen, maar kunnen we ook de didactiek verbeteren. Een voorbeeld met betrekking tot de traagheidswet van Newton kan dit illustreren. Doordat in praktische situaties altijd de wrijvingskracht een rol speelt, is het voor leerlingen moeilijk om de traagheidswet daarbij toe te passen. Voor veel leerlingen verwordt $F = m \cdot a$ dan ook tot een rekentruc, waarmee je uit de sommetjes van je leraar de door hem gewenste antwoorden kunt krijgen. Wanneer we echter uitgaan van het bij leerlingen aanwezige, intuïtieve (Aristotelische) traagheidsbegrip en hun zorgvuldig een aantal daarmee onoplosbare problemen voorschotelen, dan ontstaat een situatie waarbij het Newtonse traagheidsbegrip met vrucht als een bedachte oplossing voor die problemen kan worden voorgesteld. Op deze manier bestaat er voor de meeste leerlingen geen strijdigheid meer tussen de traagheidswet van Newton en het feit 'dat je toch gewoon kunt zien dat een kar stopt, als je ophoudt met duwen'. Ze voelen nu aan, dat een theorie een constructie is om mee naar de werkelijkheid te kijken. Door leerlingen eens – bijvoorbeeld tijdens een klasgesprek naar aanleiding van demonstratieproefjes – zelf een stuk theorie te laten bedenken (het gaat goed bij onderwerpen als trillen en slingeren; exotische theorieën heb ik ook gekregen bij een dergelijke behandeling van statische elektriciteit), zien ze duidelijk het creatieve element in het bedenken van een bepaald model om aan waarnemingen betekenis te geven. Illustratief voor hoe verschillende modellen een goede beschrijving van dezelfde waarnemingen kunnen geven, is een vergelijking van de Ptolemaïsche en Copernicaanse wereldbeelden.

Tot slot

Ik heb gepleit voor een nieuw beeld van de natuurwetenschappen in ons onderwijs. Dat nieuwe beeld zou gestalte kunnen krijgen door meer aandacht te besteden aan de historische ontwikkeling van de natuurwetenschappen, aan de wisselwerkingen tussen wetenschap, techniek en samenleving en aan een juistere presentatie van de natuur-

wetenschappelijke methode. Hopelijk is duidelijk geworden dat mijn pleidooi niet gericht is op het overdragen van minder gedegen vakkennis. Integendeel: mijn bewering is dat het onderwijs met het beschreven nieuwe beeld van de natuurwetenschappen juist gedegener wordt: meer in overeenstemming met de werkelijkheid en leidend tot meer inzicht in de mogelijkheden van beperkingen van de natuurwetenschappen. De hier geschetste didactische vormgeving van de verschillende nieuwe beeldelementen is echter nog zeer fragmentarisch en behoeft grondige kritiek en verdere uitbreiding. Ik hoop dat dit artikel het begin

van een dergelijke discussie zal zijn.

Noten

1. Hoewel de analyse in dit artikel en de argumenten daarvoor in principe voor alle natuurwetenschappen gelden, put ik mijn voorbeelden – door eigen beperktheid gedwongen – vooral uit de natuurkunde.
2. Een uitgebreider overzicht, dat goed als inleidende kennismaking kan dienen, biedt het themanummer van *Wijsserig Perspectief* over de filosofie van de natuurwetenschappen: *Wijsserig Perspectief*, 21, mei 1981 (Meulenhoff).

Welke scheikunde-onderwerpen vinden leerlingen en leraren bij het MAVO moeilijk?

O. DE JONG,
vakgroep chemiedidaktiek & vakgroep leraarsopleiding, RU Utrecht

1. Onderzoek

– Welke scheikunde-onderwerpen zijn volgens MAVO-leerlingen moeilijk te begrijpen?

– Zijn dit dezelfde onderwerpen die hun leraren moeilijk vinden om te onderwijzen?

– Bij welke moeilijke onderwerpen zijn er verschillen in oordeel tussen jongens en meisjes, tussen RLP-leerlingen en CMLS-leerlingen, tussen leerlingen met en zonder wiskunde in hun vakkenpakket?

Bovenstaande vragen en de antwoorden daarop zijn van belang bij het zoeken naar wegen om het scheikunde-onderwijs verder te verbeteren. Daarbij valt niet alleen te denken aan het determineren van 'moeilijke onderwerpen' ten behoeve van de onderwijspraktijk, maar ook aan het opsporen van geschikte onderwerpen voor de nascholing van leraren. De antwoorden zijn bovendien van belang bij het ontwikkelen van nieuwe lesteksten of leerplannen en bij het starten van nieuw chemisch-didactisch onderzoek.

Met het doel moeilijke scheikunde-onderwerpen bij het MAVO in kaart te brengen heb ik voorjaar 1981 een opiniepeiling uitgevoerd bij ca 1000 eindeksamenleerlingen en hun ruim 60 scheikundeleraren¹. Aan deze leerlingen en

leraren heb ik een lijst voorgelegd met ca 20 representatieve onderwerpen met het verzoek hun mening over elk van deze onderwerpen weer te geven op een 5-puntsschaal met als uitersten 'zeer makkelijk' en 'zeer moeilijk'². Met behulp van de verzamelde gegevens was het mogelijk om de subjectieve moeilijkheidsgraad voor elk onderwerp afzonderlijk vast te stellen. Deze 'graad' is op verschillende manieren weer te geven, bijvoorbeeld in de vorm van de gemiddelde schaalwaarde of als het percentage leerlingen of leraren dat een onderwerp (zeer) moeilijk vindt.

De subjectieve moeilijkheidsgraad moet niet verward worden met de objectieve moeilijkheidsgraad van een onderwerp. Laatsgenoemde moeilijkheidsgraad is in principe vast te stellen via de skores (of cijfers) bij proefwerk-vragen, examen-vragen, etc. Hoe lager de skore (of cijfer) des te moeilijker is het onderwerp, zo is dan de redenering. Tegen deze benadering zijn echter veel bezwaren aan te voeren. Het belangrijkste bezwaar is dat de skore (of cijfer) wel de moeilijkheidsgraad van het betreffende vraagstuk weergeeft, maar daarmee nog niet automatisch ook die van het bijbehorende onderwerp. Over een moeilijk onderwerp zijn immers relatief makkelijke vragen te stellen, ook bij eindeksamens. Overigens heeft de bepaling van de subjectieve moeilijkheidsgraad ook zijn beperkingen. Een belangrijke beperking is bijvoorbeeld het feit dat de opinie te beïnvloeden is door de keuze van de gebruikte termen bij de beschrijving van een onderwerp ('moeilijke woorden').

De belangrijkste resultaten van het door mij uitgevoerde onderzoek zijn in beknopte vorm weergegeven in figuur 1.

In de volgende paragrafen zal ik de onderzoeksresulta-